

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-239989

(43)Date of publication of application : 07.09.1999

(51)Int.Cl. B25J 9/22
G01B 11/24
G06T 17/00
G06T 1/00

(21)Application number : 10-043838

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 25.02.1998

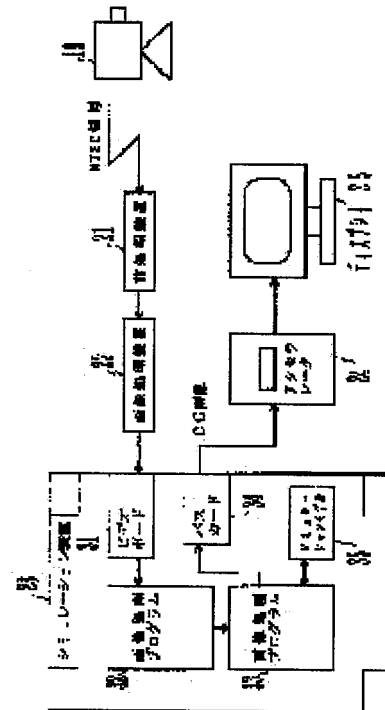
(72)Inventor : NODA AKIRA

(54) CALIBRATION DEVICE IN ROBOT SIMULATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To perform more accurate robot operation by arranging an image input means to input an image by a camera and a correcting means to correct a corresponding graphics image on the basis of an inputted image.

SOLUTION: A calibration device contains a preprocessor 21, an image processor 22, a simulation device 23 and an accelerator 24, and processes an actual image (an NTSC signal) sent from a camera 19 to be displayed on an image screen of a display 25. The preprocessor 21 and the image processor 22 performs noise processing of the inputted NTSC signal and synchronizing signal separating processing to be inputted to the simulation device 23. The accelerator 24 displays a CG image outputted from the simulation device 23 on the image screen of the display 25. The simulation device 23 contains a video board 31, image processing programs 32, 33, a pass card 34 and a simulation model 35.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.10.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3415427

[Date of registration] 04.04.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2002-022324

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 20.11.2002

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-239989

(43)公開日 平成11年(1999) 9月7日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

B 2 5 J 9/22

B 2 5 J 9/22

A

G 0 1 B 11/24

G 0 1 B 11/24

K

G 0 6 T 17/00

G 0 6 F 15/62

3 5 0 A

1/00

3 8 0

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願平10-43838

(22)出願日

平成10年(1998) 2月25日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72)発明者 野田 明

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 大菅 義之 (外1名)

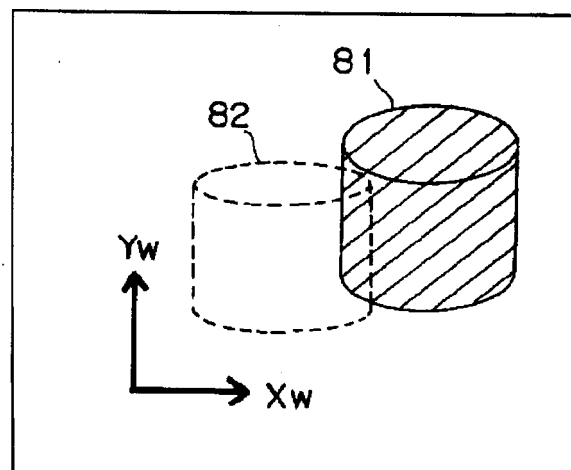
(54)【発明の名称】 ロボットシミュレーションにおけるキャリブレーション装置

(57)【要約】

【課題】 ロボットシミュレーションにおいて、正確なセンサ情報を用いることなく、シミュレーションモデルのキャリブレーションを行うことが課題である。

【解決手段】 ロボットに装着されたカメラにより、ロボットの操作対象物の画像81を撮影し、シミュレーションモデルに基づいて、カメラと同じ画角、視点で生成された対象物のグラフィクス画像82とともに重畳表示する。そして、これらの画像が一致するように、シミュレーションモデルを校正する。

第4の画面を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ロボットシミュレーションにおけるグラフィックス表示のキャリブレーションを行うキャリブレーション装置であって、
カメラによる画像を入力する画像入力手段と、
入力された画像に基づいて、対応するグラフィックス画像を修正する修正手段と、
修正されたグラフィックス画像を表示する表示手段とを備えることを特徴とするキャリブレーション装置。

【請求項 2】 前記表示手段は、前記入力された画像と、前記対応するグラフィックス画像とを重畳表示し、前記修正手段は、該入力された画像と対応するグラフィックス画像の間のずれ量に基づいて、該対応するグラフィックス画像を修正することを特徴とする請求項 1 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 3】 前記表示手段の画面上で、前記ずれ量を減少させるような操作を行う操作入力手段をさらに備え、前記修正手段は、該操作入力手段からの指示に基づいて、前記対応するグラフィックス画像を修正することを特徴とする請求項 2 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 4】 前記対応するグラフィックス画像を生成するためのシミュレーションモデルを格納する格納手段をさらに備え、前記修正手段は、修正の結果を該シミュレーションモデルに反映させることを特徴とする請求項 1 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 5】 前記格納手段は、ロボットと物体のシミュレーションモデルを格納し、前記修正手段は、該シミュレーションモデルにおける該ロボットと物体の相対的な関係を較正することを特徴とする請求項 4 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 6】 ロボットシミュレーションにおけるグラフィックス表示のキャリブレーションを行うキャリブレーション装置であって、
ロボットのエンドエフェクタに装着されたカメラによる物体の画像を入力する画像入力手段と、
入力された画像に基づいて、前記物体のグラフィックス画像を修正する修正手段と、
修正されたグラフィックス画像を表示する表示手段とを備えることを特徴とするキャリブレーション装置。

【請求項 7】 前記ロボットと物体のシミュレーションモデルを格納する手段と、前記カメラに対応する画角および視点で、該シミュレーションモデルから前記物体のグラフィックス画像を生成する手段をさらに備えることを特徴とする請求項 6 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 8】 前記修正手段は、修正の結果を前記シミュレーションモデルに反映させて、該シミュレーションモデルにおける前記ロボットと物体の相対的な関係を較正することを特徴とする請求項 7 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 9】 前記修正手段は、前記物体のグラフィク

ス画像の位置および姿勢のうち少なくとも一方を修正して、前記ロボットと物体の相対的な位置および姿勢のうち少なくとも一方を較正することを特徴とする請求項 8 記載のキャリブレーション装置。

【請求項 10】 物体のグラフィックス表示のキャリブレーションを行うキャリブレーション装置であって、
前記物体の画像を入力する画像入力手段と、
入力された画像に基づいて、前記物体のグラフィックス画像を修正する修正手段と、
修正されたグラフィックス画像を表示する表示手段とを備えることを特徴とするキャリブレーション装置。

【請求項 11】 シミュレーションに基づいて操作されるロボットシステムであって、
ロボットと、
カメラと、
前記カメラによる画像に基づいて、シミュレーションモデルを較正するキャリブレーション手段と、
較正されたシミュレーションモデルに基づくグラフィックス画像を表示する表示手段と、
前記グラフィックス画像に基づいて前記ロボットを操作する操作入力手段とを備えることを特徴とするロボットシステム。

【請求項 12】 ロボットシミュレーションにおけるグラフィックス表示のキャリブレーションを行うコンピュータのためのプログラムを記録した記録媒体であって、
カメラによる画像を取り込む機能と、
取り込まれた画像に基づいて、対応するグラフィックス画像を修正する機能と、
修正されたグラフィックス画像を表示する機能とを前記コンピュータに実現させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 13】 物体のグラフィックス表示のキャリブレーションを行うコンピュータのためのプログラムを記録した記録媒体であって、
前記物体の画像を取り込む機能と、
取り込まれた画像に基づいて、前記物体のグラフィックス画像を修正する機能と、
修正されたグラフィックス画像を表示する機能とを前記コンピュータに実現させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ロボットの設計、開発、制御の各段階において必要とされるロボットシミュレーションのキャリブレーション（較正）を実施する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、産業用ロボット、実験／研究用ロボット等、様々な分野で人間の代わりに作業を行うロボットが開発され、実用化されている。これらのロボット

の中でも、マニピュレータ（ロボットアーム）を持つアーム型ロボットは、人間と同じような手作業ができるという特徴を持っている。

【0003】マニピュレータの先端には手先効果器（エンドエフェクタ）が取り付けられており、これが、直接、作業対象物に働きかけて、対象物を把持したり、移動させたりする。代表的なエンドエフェクタとしては、対象物を把持するグリップ（ロボットハンド）がある。

【0004】また、ロボットシミュレーションを行うコンピュータシステムは、ロボットのモデル化、シミュレーション演算、演算結果の可視化を主要な機能としており、そのシミュレーション対象は運動学、動力学、制御等を含む。ロボットシミュレーションについての参考書としては、「基礎ロボット工学制御編」（長谷川健介、増田良介共著、昭晃堂）や「ロボティクス」（遠山茂樹著、日刊工業新聞社）等がある。

【0005】アーム型ロボットの運動学シミュレーションは、順運動学（キネマティクス）シミュレーションと逆運動学（逆キネマティクス）シミュレーションの2通りに大別される。キネマティクスシミュレーションは、マニピュレータの関節角の回転量を入力データとして、エンドエフェクタの位置と姿勢のデータを出力する。これとは逆に、逆キネマティクスシミュレーションは、エンドエフェクタの位置と姿勢を入力データとして、関節角の回転量を出力する。

【0006】ここで、入出力データとして用いられているエンドエフェクタの位置、姿勢および関節角の回転角は、3次元空間内における連結された座標系としてモデル化され、位置、姿勢、回転角の各パラメータは、連結された座標系の相対的なパラメータとして表現される。これらの入力データによるシミュレーション結果は、一般に、3次元コンピュータグラフィクス（3次元CG）により可視化することで、感覚的に把握される。

【0007】ロボットシミュレーションを利用してロボットを操作する場合、オペレータは、表示されたシミュレーション結果により操作後の状態を確認した後、対応する関節角の回転量等を操作入力としてロボットに与える。

【0008】このようなシミュレーションモデルのキャリブレーションを行う方法としては様々なものがあるが、基本的には、シミュレーションモデルにおけるロボットおよび操作対象物の配置とそれらの実際の配置との差異を計測して、シミュレーションモデルに反映することで実施される。したがって、キャリブレーションにおいては、実際のロボット等の機器の配置がどれだけ正確に取得できるかが、精度を高める上での重要な要因となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のキャリブレーション方法には次のような問題がある。ロ

ボットの作業場所は必ずしも地上の工場内とは限らず、地下、海中、空中、宇宙空間等の環境の異なる様々な場所が想定され、それに伴って特殊なキャリブレーションを要求される場合がある。

【0010】例えば、人工衛星に搭載されて宇宙空間で作業を行うロボットハンドシステムの場合、衛星打ち上げ時にかなり大きな衝撃や振動が発生する。宇宙空間のロボットを遠隔操作するためには、オペレータはディスプレイに表示された3次元CGを見ながら適用な操作入力を与える必要があるが、衝撃や振動によってロボットおよび操作対象物の位置がずれると、正確な操作が行えなくなる。そこで、ずれをシミュレーションモデルに反映するために、キャリブレーションが必要となる。

【0011】しかし、この種のロボットハンドシステムには、通常、ロボットおよび操作対象物のずれを検知する適当なセンサが備えられていないため、ずれの発生状況を把握することは不可能である。

【0012】また、ロボットの操作時には、地上において試験を行った際のキャリブレーションの値が参照されるが、この値は重力の存在する環境で計測されたものである。したがって、無重力状態における影響をシミュレーションモデルに反映するために、なんらかのキャリブレーションが必要となる。しかし、無重力の影響を検知する適当なセンサが備えられていないため、それを把握することはできない。

【0013】本発明の課題は、ロボットを操作するためのロボットシミュレーションにおいて、正確なセンサ情報を用いることなく、シミュレーションモデルのキャリブレーションを行うキャリブレーション装置を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】図1は、本発明のキャリブレーション装置の原理図である。図1のキャリブレーション装置は、画像入力手段1、修正手段2、および表示手段3を備え、ロボットシミュレーションにおけるグラフィクス表示のキャリブレーションを行う。

【0015】画像入力手段1は、カメラによる画像を入力し、修正手段2は、入力された画像に基づいて、対応するグラフィクス画像を修正する。そして、表示手段3は、修正されたグラフィクス画像を表示する。

【0016】例えば、表示手段3は、入力された物体の画像と、その物体に対応するグラフィクス画像とを重量表示し、オペレータは、表示画面を確認しながら、物体の画像とそのグラフィクス画像の間のずれ量を減少させるような入力操作を行う。そして、修正手段2は、入力操作に従ってグラフィクス画像を修正し、表示手段3は、修正されたグラフィクス画像を表示する。

【0017】このような操作を繰り返して、ずれ量が十分に小さくなった時点で、修正の結果をシミュレーションモデルに反映させれば、シミュレーションモデルのキ

ャリブレーションを行うことができる。

【0018】例えば、図1の画像入力手段1は、後述する図3のビデオボード31に対応し、修正手段2は、画像処理プログラム33を実行するコンピュータに対応し、表示手段3は、ディスプレイ25に対応する。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態を詳細に説明する。本実施形態では、より正確な遠隔操作を実現するためには、ロボットハンドシステムの搭載系のカメラから送信されてくる実画像により、実際のロボットおよび操作対象物の状態を把握し、それをシミュレーションモデルに反映するようなキャリブレーションを実施する。

【0020】ここでは、ロボットのエンドエフェクタに装着されたカメラによる操作対象物の実画像と、同じ画角、視点による3次元CGの画像とを重畳表示し、その表示における両者のずれ量をキャリブレーションの元データとして用いる。このとき、NTSC (national television system committee) 信号の実画像は、ビデオ入力装置により、ビットマップ (bitmap) 形式に変換され、テキスチャマッピングにより、操作対象物をモデル化したCAD (computer aided design) モデルの表面に張り付けられる。そして、このCADモデルとシミュレーションモデルが重畳表示される。

【0021】次に、オペレータは、重畳表示によりずれを確認しながら、操作対象物の絶対座標系における位置、姿勢を修正し、ロボットのエンドエフェクタと操作対象物との相対的な位置および姿勢の関係を較正する。このとき、操作対象物をモデル化した座標系を回転、移動させることにより、実画像上の操作対象物とシミュレーションモデル上の操作対象物が一致するように較正する。

【0022】図2は、シミュレーションの対象となるロボットシステムの一例を示す構成図である。図2のシステムは、ロボット11、アクチュエータ12、センサ13、制御装置14、およびインタフェース15を含み、オペレータの操作入力に従って動作する。

【0023】ロボット11は、ベースプレート16上に搭載されたマニピュレータ17を備えており、マニピュレータ17の先端には、対象物20を把持するためのエンドエフェクタであるハンド18が取り付けられている。また、ハンド18にはカメラ19が取り付けられており、対象物20等を含む周囲の環境を撮影することができる。カメラ19としては、例えば、CCD (charge coupled device) カメラが用いられる。

【0024】アクチュエータ12は、制御装置14からの制御信号に従ってロボット11を駆動し、センサ13は、マニピュレータ17の各関節の位置、速度、トルク等を検出して、それらの値に対応する信号を制御装置14に出力する。制御装置14は、プログラムを実行する

処理装置を含み、センサ13からの情報に基づいて、アクチュエータ12への制御信号を生成する。インタフェース15は、オペレータと制御装置14の間の情報交換を仲介する入出力装置である。

【0025】図2の制御装置14は、図3に示すようなキャリブレーション装置を備える。図3のキャリブレーション装置は、前処理装置21、画像処理装置22、シミュレーション装置23、およびアクセラレータ24を含み、カメラ19から送られる実画像 (NTSC信号) を処理して、ディスプレイ25の画面に表示する。ディスプレイ25は、図2のインタフェース15に対応する。

【0026】前処理装置21および画像処理装置22は、入力されたNTSC信号のノイズ処理や同期信号分離処理等を行って、シミュレーション装置23に入力する。アクセラレータ24は、シミュレーション装置23から出力されるCG画像をディスプレイ25の画面に表示する。

【0027】シミュレーション装置23は、ビデオボード31、画像処理プログラム32、33、バスカード34、およびシミュレーションモデル35を含む。ビデオボード31は、入力された信号をビットマップ形式の画像データ (デジタルデータ) に変換し、画像処理プログラム32は、画像データに含まれる物体の輪郭を強調するエッジ処理等を行う。また、画像処理プログラム33は、画像データのテキスチャマッピングを行った後、シミュレーションモデル35と合成して、バスカード34から出力する。

【0028】このようなキャリブレーション装置を含む制御装置14とインタフェース15は、例えば、図4に示すような情報処理装置 (コンピュータ) を用いて構成することができる。図4の情報処理装置は、CPU (中央処理装置) 41、メモリ42、入力装置43、出力装置44、外部記憶装置45、媒体駆動装置46、およびネットワーク接続装置47を備え、それらはバス48により互いに接続されている。

【0029】メモリ42は、例えば、ROM (read only memory)、RAM (random access memory) 等を含み、ロボットシステムのシミュレーションに用いられるプログラムとデータを格納する。例えば、図3の画像処理プログラム32、33、シミュレーションモデル35、入力された実画像のデータ等が、メモリ42に格納される。プログラムCPU41は、メモリ42を利用してプログラムを実行することにより、必要な処理を行う。

【0030】入力装置43は、例えば、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル、ジョイスティック等であり、オペレータからの指示や情報の入力に用いられる。出力装置44は、例えば、ディスプレイ25やプリンタ等であり、オペレータへの問い合わせや処理結

果等の出力に用いられる。

【0031】外部記憶装置45は、例えば、磁気ディスク装置、光ディスク装置、光磁気ディスク (magneto-optical disk) 装置等である。この外部記憶装置45に、上述のプログラムとデータを保存しておき、必要に応じて、それらをメモリ42にロードして使用することもできる。また、外部記憶装置45は、必要に応じて、データベースとしても用いられる。

【0032】媒体駆動装置46は、可搬記録媒体49を駆動し、その記録内容にアクセスする。可搬記録媒体49としては、メモリカード、フロッピーディスク、CD-ROM (compact disk read only memory)、光ディスク、光磁気ディスク等、任意のコンピュータ読み取り可能な記録媒体が用いられる。この可搬記録媒体49に上述のプログラムとデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ42にロードして使用することもできる。

【0033】ネットワーク接続装置47は、LAN (local area network) 等の任意のネットワーク (回線) を介して外部の装置と通信し、通信に伴うデータ変換を行う。また、必要に応じて、上述のプログラムとデータを外部の装置から受け取り、それらをメモリ42にロードして使用することもできる。

【0034】図5は、図4の情報処理装置にプログラムとデータを供給することのできるコンピュータ読み取り可能な記録媒体を示している。可搬記録媒体49や外部のデータベース50に保存されたプログラムとデータは、メモリ42にロードされる。そして、CPU41は、そのデータを用いてそのプログラムを実行し、必要な処理を行う。

【0035】次に、図2のロボット11の座標系について説明する。ロボット11には、回転可能な5つの関節が備えられており、各関節の回転角 (関節角) は変数 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 、 θ_5 で表される。これらの変数で表される座標系を、関節角座標系と呼ぶことにする。マニピュレータ17が伸びきって直立姿勢を取ったとき、各関節角の関係は図6に示すようになり、 θ_1 と θ_5 の回転軸は一直線上にある。

【0036】また、ハンド18の位置と姿勢を表すベース座標系は、図7に示すように、 α_b 、 X_b 、 Z_b 、 β_b 、 γ_b の5つの変数から成る。このうち、回転角 α_b と γ_b は、それぞれ、関節角座標系の θ_1 と θ_5 に一致する。

【0037】 X_b-Z_b 平面は、ベースプレート16の表面に垂直であり、その原点は、ベースプレート16の表面と θ_1 の回転軸の交点に一致する。そして、この X_b-Z_b 平面は、回転角 α_b とともに回転する。回転角 β_b は、 X_b-Z_b 平面内で定義され、 Z_b 軸の正の向きに対する γ_b の回転軸の向きを表す。こうして、変数 α_b 、 X_b 、 Z_b によりハンド18の位置が表現され、

変数 β_b と γ_b によりその姿勢が表現される。

【0038】シミュレーションモデルは、例えば、図8に示すような木構造で表される。図8において、それぞれの矩形は1つの座標系を表し、直線で接続された矩形同士は互いに親子関係 (隣接関係) にある。これらの座標系間の関係は、ロボットの運動を表現するときによく用いられるDenavit-Hartenbergモデル (DHモデル) により表現できる。

【0039】DHモデルでは、ロボットを複数のリンクが関節により結合したリンク機構とみなして、各関節毎に3次元座標系を定義し、各座標系間の相対的な関係を4つの座標変換パラメータで表現している (基礎ロボット工学制御編、52-56ページ、長谷川健介、増田良介共著、昭晃堂)。ここでは、これらのパラメータをDHパラメータと呼ぶことにし、ロボットや作業対象物上で定義された任意の3次元座標系間の関係を表現するために用いる。

【0040】ルート座標系51は3次元空間における絶対座標系を表し、ロボット11は関節角座標系61、62、63、64、65で表される。これらの関節角座標系61、62、63、64、65は、それぞれ、図2の関節角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 、 θ_5 に対応する各関節において定義される。また、タスクボードa座標系52とタスクボードb座標系53は、作業対象物が固定されているタスクボード (パネルや壁面等) において定義された座標系である。

【0041】ロボット11が操作する対象物は、作業対象物 $n-m$ のように表され ($n=a, b, c, \dots$, $m=1, 2, 3, \dots$)、作業対象物 $a-m$ はタスクボードa上に固定されており、作業対象物 $b-m$ はタスクボードb上に固定されている。また、作業対象物 $c-m$ は、作業対象物 $b-2$ 上に固定されている。これらの作業対象物は、例えば、タスクボード上に埋め込まれたボルト等に対応するルート座標系51の下には、任意の数の開ループ構造のデータを設定することが可能である。ここで、開ループ構造とは、親子関係がループを作らないような構造であり、例えば、関節角座標系65と作業対象物 $a-4$ が直線で結ばれていないことを意味する。

【0042】例えば、ロボット11が作業対象物 $a-1 \sim a-4$ を操作対象とする場合、図8のシミュレーションモデルに対するキャリブレーションは、タスクボードa座標系52とルート座標系51の間のDHパラメータを変更することで実施される。このとき、オペレータが画面上で指定した変更データが座標変換によりDHパラメータに反映され、その結果、ロボット11とタスクボードaとの相対的な位置および姿勢が校正される。

【0043】図8では、作業対象物がタスクボード上に固定されている場合を想定しているが、作業対象物が固定されていない場合でも、同様にしてキャリブレーション

ンを実施することが可能である。この場合、作業対象物の座標系が、直接、ルート座標系51の下に接続され、その作業対象物の座標系とルート座標系51の間のDHパラメータが変更される。

【0044】図9は、図3の装置によるキャリブレーションのフローチャートである。ビデオボード31は、まず、実画像の信号をビットマップ形式の画像データに変換して(ステップS1)、シミュレーション装置23内に取り込む(ステップS2)。このとき、画像処理プログラム32は、画像データのエッジ処理を行って、物体の輪郭を強調する。例えば、図10のような対象物の画像が取り込まれたとき、エッジ処理により、図11のような画像に変換される。

【0045】次に、画像処理プログラム33は、テキストチャマッピングを行って、画像データをCADモデルの表面にマッピングする(ステップS3)。テキストチャとは、画像内で明るさや色が規則的に変化するパターンを意味し、テキストチャマッピングにより、画像に含まれるテキストチャが、対象物等に対応するCADモデルの表面に張り付けられる。

【0046】そして、画像処理プログラム33は、実画像を張り付けられたCADモデルとシミュレーションモデルを重ね合わせて、バスカード34からアクセラレータ24に出力する。このとき、図2のカメラ19と同じ画角、視点のCG画像がシミュレーションモデルから生成され、それが実画像と重ね合わされる。これにより、CADモデルの実画像とシミュレーションモデルのCG画像がディスプレイ25に重畳表示される(ステップS4)。ここで、実画像とCG画像がずれていれば、キャリブレーションが必要になる。

【0047】オペレータは、表示された画面を見ながら、ポインティングデバイスやグラフィカルユーザインタフェース(GUI)等を用いて、キャリブレーションデータを入力する。ここでは、例えば、CADモデルの実画像とシミュレーションモデルのCG画像の双方に基準となるマーカを付加しておき、これらのマーカの位置が一致するように、CG画像の位置合わせデータを入力する(ステップS5)。さらに、これらのマーカの向き(姿勢)が一致するように、CG画像の姿勢合わせデータを入力する(ステップS6)。

【0048】次に、画像処理プログラム33は、入力されたキャリブレーションデータに基づいてCG画像を変更し、実画像のマーカとCG画像のマーカの位置および姿勢が一致しているかどうかを判定する(ステップS7)。そして、両者が一致していなければ、ステップS4以降の処理を繰り返す。これらのマーカが一致すれば、画像処理プログラム33は、位置および姿勢の調整結果をシミュレーションモデルに反映して、処理を終了する。

【0049】例えば、ステップS4において、図12に

示すように、作業対象物の実画像71と、シミュレーションモデルにおけるハンドの中心領域の断面を表すCG画像72が重畳表示されたとする。このとき、オペレータは、実画像上のマーカ73とシミュレーションモデルのマーカ74を元にしてずれを確認し、適当なキャリブレーションデータを入力して、CG画像を変更する。その結果、図13に示すように、2つのマーカ73、74が一致した画面が表示される。

【0050】実画像のマーカ73は、対象物71が固定されているタスクボード上に、実際に描画しておいてもよく、対象物71のCADモデル生成時に付加してもよい。また、このようなマーカを用いずに、物体の輪郭等に基づいて一致判定を行うことも可能である。

【0051】例えば、図14に示すように、対象物(円柱)の実画像81と、シミュレーションモデルにおける対象物のCG画像82が重畳表示されたとする。このとき、オペレータは、まず、図15に示すように、CG画像82の画面上における位置座標(X_w , Y_w)をマウス等の操作により変更して、その位置を実画像81に合わせる。そして、表示を確認しながら、両者の位置が合うまで操作を繰り返す。

【0052】次に、図16に示すように、CG画像82の姿勢座標をマウス等の操作により変更して、その姿勢(傾き)を実画像81に合わせる。そして、表示を確認しながら、両者の姿勢が合うまで操作を繰り返す。CG画像82の姿勢は、例えば、回転を表す変数(α_w , β_w , γ_w)により指定され、それらの値はマウスボタンの操作により変更される。

【0053】そして、ステップS7において、実画像81とCG画像82の位置および姿勢が一致すると、画像処理プログラム33は、CG画像82の輪郭線を強調表示して、そのことをオペレータに知らせる。強調表示の形態としては、輪郭線の色を変更したり、輪郭線部分を点滅させたりすることが考えられる。これにより、マーカ等が表示されなくても、オペレータは、実画像81とCG画像82が一致したことを容易に認識することができ、操作効率が向上する。

【0054】ここでは、ロボットの操作対象物の画像を用いてキャリブレーションを行っているが、他の任意の物体の画像を用いた場合でも、同様の方法でキャリブレーションを行うことができる。

【0055】図17は、図9のステップS5~S8において行われる、画面座標系からシミュレーションモデルの座標系への座標変換のフローチャートである。まず、オペレータが、画面上で変更に関わる位置および姿勢の座標(X_w , Y_w , α_w , β_w , γ_w)を指定すると(ステップS11)、画像処理プログラム33は、それらを3次元CG空間における変更データとして、絶対座標系空間(X_a , Y_a , Z_a , θ_x , θ_y , θ_z)にマッピングする(ステップS12)。絶対座標系は、例え

ば、図7のベース座標系の原点を原点として定義される。

【0056】次に、画像処理プログラム33は、変更データを絶対座標系からベース座標系に変換し（ステップS13）、さらに、ベース座標系からシミュレーションモデルのDHパラメータに変換して（ステップS14）、処理を終了する。DHパラメータは、シミュレーションモデルに含まれる各座標系毎に設定され、（ X_d , Z_d , θ_x , θ_z ）の4つのパラメータを含む。このようにして、DHパラメータを変更することで、シミュレーションモデルにおけるロボットと対象物の相対的な関係が較正される。

【0057】ここでは、3次元CG空間においてキャリブレーションデータを入力する構成をとることにより、オペレータにとって、視覚的に操作しやすい作業環境を提供している。しかしながら、キャリブレーションデータの inputs は、絶対座標系、ベース座標系等を含む任意の座標系で行うことができる。

【0058】図18は、ベース座標系でキャリブレーションデータを入力するためのキャリブレーション設定画面の例を示している。図18のタスクボード設定欄83において、オペレータは、ベース座標系の変数 α_b , X_b , Z_b , β_b , γ_b の設定値とオフセットを入力して、対応するタスクボードの位置および姿勢を修正することができる。この場合、画像処理プログラム33は、これらの入力値を、直接、タスクボード座標系のDHパラメータに変換して、シミュレーションモデルを変更する。

【0059】ところで、以上説明した実施形態においては、図2、6、7、8等に示したように、ロボットの動作に特定の制約を設けて、位置と姿勢を5自由度（5個のパラメータ）で表現している。しかし、一般のロボットでは、位置と姿勢が6自由度で表現される。本発明のキャリブレーションは、自由度に関係なく、任意のロボットに適用可能である。

【0060】また、キャリブレーション装置の構成は、図3の構成に限られず、任意に設計することができる。例えば、図3のアクセラレータ24は、CG画像の表示を高速化するための装置であるため、シミュレーション装置23の表示性能に問題がない場合は、これを省略することができる。

【0061】また、実施形態においては、実画像を撮影するカメラをロボットのエンドエフェクタ上に取り付けるものとしているが、カメラの位置はこれに限られず、ロボットや対象物を含む3次元空間内の任意の位置に固定して用いることができる。例えば、ロボットのマニピュレータ、ベースプレート、作業対象物が置かれている作業台、作業空間の床、天井、壁等にカメラを設置してもよい。

【0062】この場合、設置されたカメラと同じ画角、

視点から見たCG画像が生成され、実画像とともに重畳表示される。そして、オペレータは、図9と同様の方法で、エンドエフェクタの実画像とCG画像を一致させるような操作を行い、カメラとエンドエフェクタの相対的な位置および姿勢を較正する。また、対象物の実画像とCG画像を一致させるような操作を行うことで、カメラと対象物の相対的な位置および姿勢を較正する。これらの操作により、結果として、エンドエフェクタと対象物の相対的な位置および姿勢が較正される。

【0063】また、実施形態では、オペレータの操作によりキャリブレーションデータが入力されているが、シミュレーション装置が実画像とCG画像の間のずれを自動的に検出して、キャリブレーションデータを取得するようにしてもよい。このような構成を用いれば、位置合わせや姿勢合わせに伴うオペレータの作業が軽減される。

【0064】さらに、本発明のキャリブレーション方法は、地上で作業するロボットのみならず、地下、海中、空中、宇宙空間等、あらゆる場所で作業を行う任意のロボットに対して適用可能である。例えば、人工衛星に搭載されたロボットハンドシステムの遠隔操作の際に用いれば、打ち上げ時の衝撃や振動、無重力状態における影響に対して、より正確なキャリブレーションを実施することができる。

【0065】

【発明の効果】本発明によれば、キャリブレーション用の計測情報が得られない遠隔地等にあるロボットを操作するためのロボットシミュレーションにおいて、カメラからの画像を用いてキャリブレーションを簡単に実施することができる。これにより、より正確なロボット操作が行えるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のキャリブレーション装置の原理図である。

【図2】ロボットシステムの構成図である。

【図3】キャリブレーション装置の構成図である。

【図4】情報処理装置の構成図である。

【図5】記録媒体を示す図である。

【図6】関節角座標系を示す図である。

【図7】ベース座標系を示す図である。

【図8】シミュレーションモデルのデータ構造を示す図である。

【図9】キャリブレーションのフローチャートである。

【図10】実画像を示す図である。

【図11】エッジ処理された画像を示す図である。

【図12】第1の画面を示す図である。

【図13】第2の画面を示す図である。

【図14】第3の画面を示す図である。

【図15】第4の画面を示す図である。

【図16】第5の画面を示す図である。

* 31 ビデオボード

32、33 画像処理プログラム

34 バスカード

- ### 35 シミュレーションモデル

- 4 1 C P U

- 42 メモリ

- ## 4 3 入力装置

- #### 4 4 出力装置

- ## 4 5 外部記憶裝置

- ## 4 5 外部記憶裝置

- ## 4 6 媒体駆動装置

- ## 47 ネットワーク接続装置

- 48 バス

- ## 4.9 可搬記録媒体

- 50 データベース

- 51、52、53、61、62、63、64、65 座

- 標系

- 52 カメラ

- 71、81 実画像

- 71、81 美国像

- 72、82 CG画像

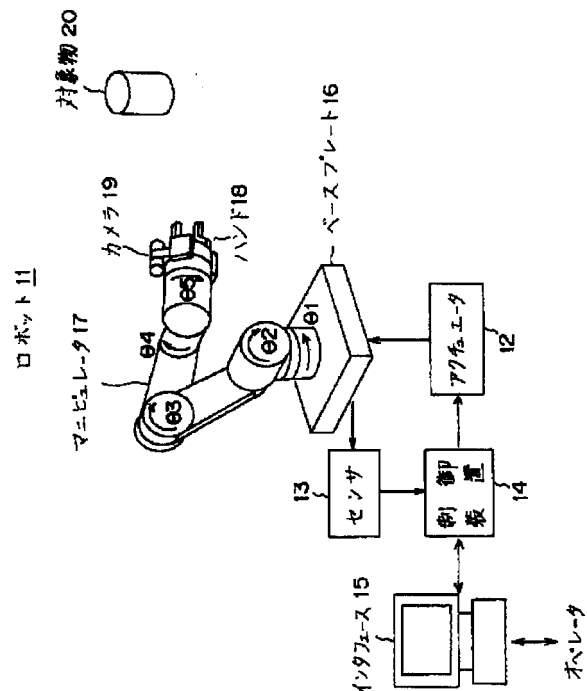
- 73、74 マーカ

- ### 83 タスクボード設定欄

*

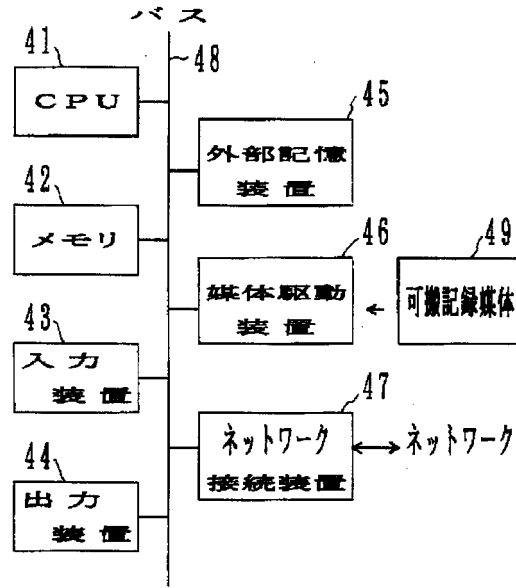
【図 2】

ロボットシステムの構成図



【図4】

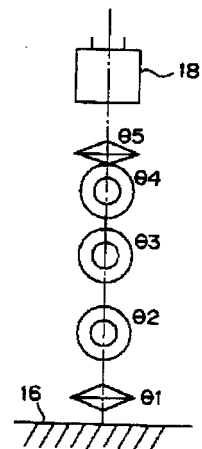
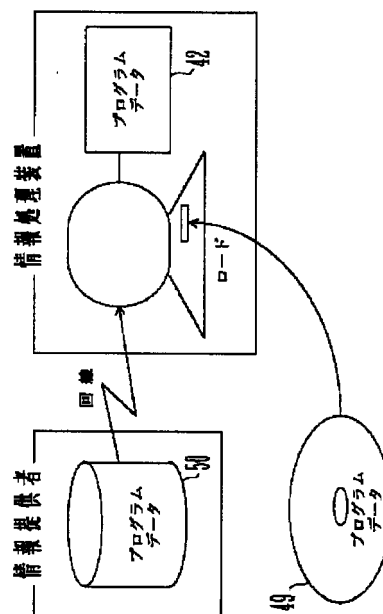
情報処理装置の構成図



【图 6】

關節角座標系表示圖

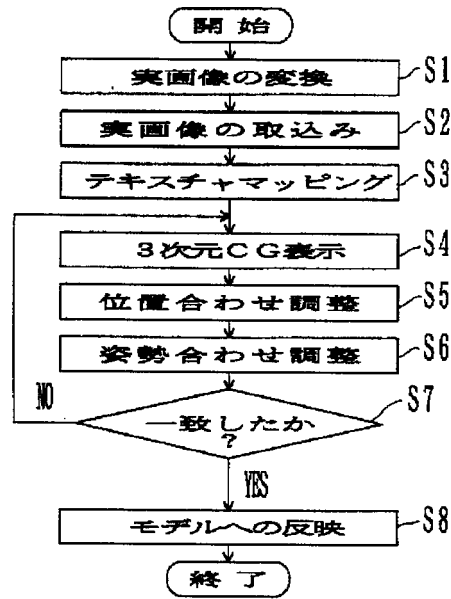
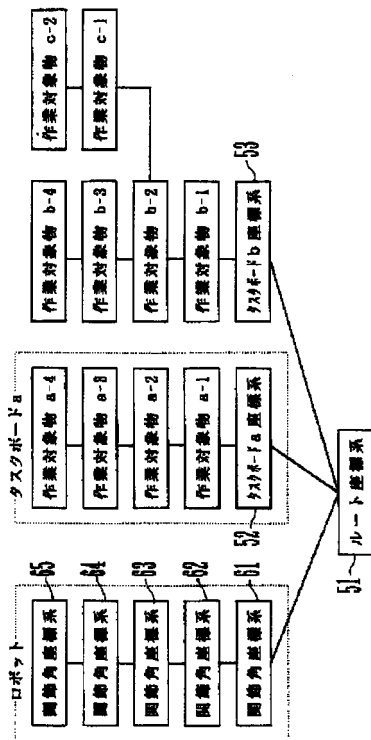
ベース座標系を示す図



【図8】

【図9】

シミュレーションモデルのデータ構造を示す図 キャリブレーションのフローチャート

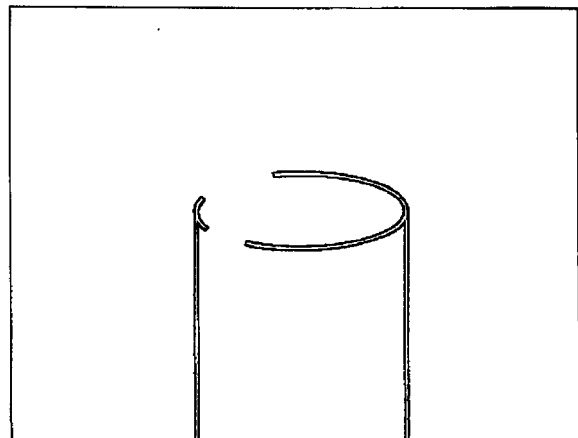
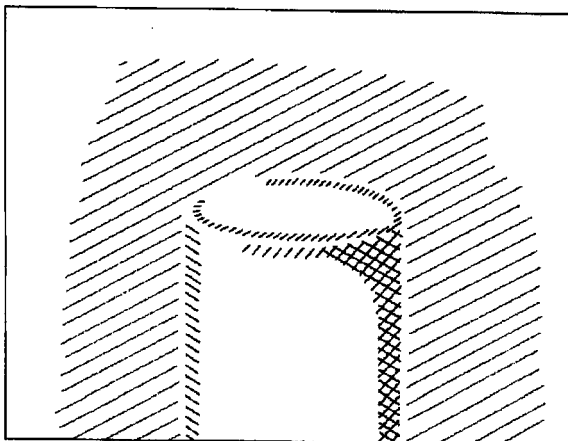


【図11】

エッジ処理された画像を示す図

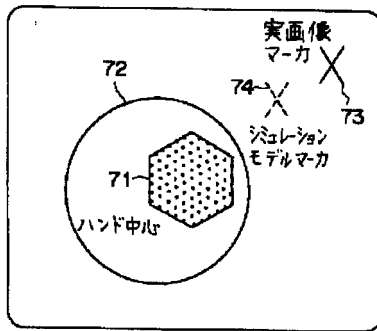
【図10】

実画像を示す図



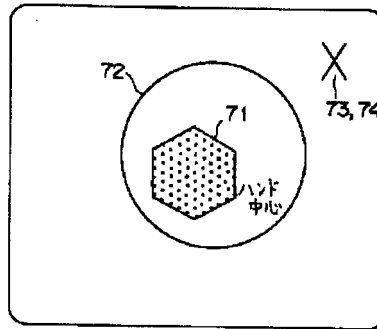
【図12】

第1の画面を示す図



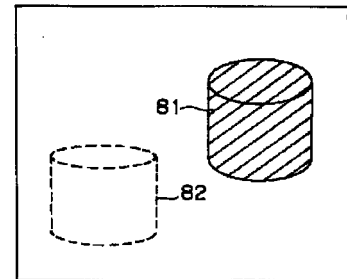
【図13】

第2の画面を示す図



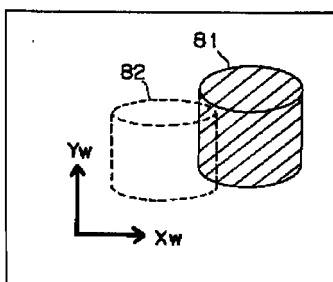
【図14】

第3の画面を示す図



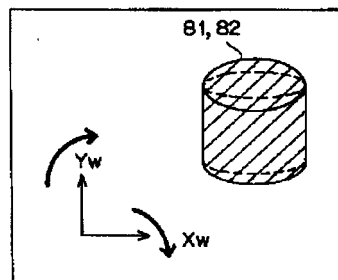
【図15】

第4の画面を示す図



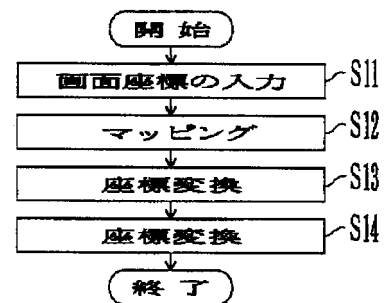
【図16】

第5の画面を示す図



【図17】

座標変換のフローチャート



【図18】

キャリブレーション設定画面を示す図

キャリブレーション設定画面									
メニュー(M)		設定(S)		他画面(T)		緊急(E)			
<div> <div> <div>移動台設定</div> <div> <div>$\theta 1$ [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>$\theta 2$ [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>$\theta 3$ [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>$\theta 4$ [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>$\theta 5$ [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> </div> </div>									
<div> <div>設定値</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>リセット</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div>									
<div> <div>ハンド設定</div> <div> <div>A 値 [mm]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>B 値 [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>C 値 [rad]</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> </div>									
<div> <div>設定値</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>リセット</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>リセットボタン</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div>									
<div> <div>タスクボード設定</div> <div> <div>タスクボード選択</div> <div> <div>B 座標点位置</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>C 座標点位置</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>D 座標点位置</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> </div> </div>									
<div> <div>設定値</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div> <div> <div>リセット</div> <div>0.00</div> <div>↑</div> <div>↓</div> </div>									